

不同温度下的棉铃虫实验种群生命表*

吴坤君 陈玉平 李明辉

(中国科学院动物研究所)

摘要 组建了棉铃虫在五种恒温条件下的种群生命表。分析结果表明,卵期孵化率在 25℃ 中最高,在 35℃ 中孵化率显著下降。在 20°—35℃ 范围内,幼虫存活率变化不大;在 15℃ 中幼虫死亡率显著增加,低温对幼虫存活的影响主要发生在 4—6 龄期间。在试验的温度范围内,蛹期存活率与温度呈直线相关。世代存活率以 30℃ 中为最高,25℃ 中次之。在 25°—30℃ 范围内,雌蛾平均产卵量最大,产卵率最高;15℃ 低温主要影响卵的形成,持续 35℃ 高温主要影响成虫的产卵行为。在五种温度中的世代存活率和雌蛾平均产卵量均呈抛物线趋势。在试验温度范围内的种群增长指数可以用二次抛物线方程表示。计算结果表明,在 15.05°—36.08℃ 范围内,棉铃虫种群世代数量都是上升的趋势,在最适温度下繁殖一代,种群的数量约增加 350 倍;在 15.05℃ 或 36.08℃ 中,种群世代数量基本保持稳定。

温度是组成昆虫生活环境的基本要素之一,它对昆虫的发育、存活和繁殖等均有重要影响。Pearl 等(1921)第一次运用生命表对果蝇成虫 *Drosophila* 存活情况进行了分析。此后,运用生命表分析昆虫种群动态的报告逐渐增多,特别是近年来,生命表已成为研究分析环境因素对昆虫种群数量变动影响的重要方法,并以种群增长指数作为数量变动的主要指标。一些作者已在专著或综述中就生命表的发展和应用问题进行了详细的讨论(Richards, 1961; Southwood, 1966; Harcourt, 1969; Varley 等, 1970; Seber, 1973)。Morris 等(1970)研究了不同温湿度组合对美国白蛾(*Hyphantria cunea*)发育和存活的影响,组建了生命表,计算了种群增长指数,提出了温、湿度对存活影响的预备模式。Stinner 等(1974)用温度同发育速率、死亡率关系的数学方程式作为参数之一,提出了美国棉铃虫(*Heliothis zea*)和烟草夜蛾(*H. virescens*)的种群动态模拟模式,并报告了初步模拟的结果。

棉铃虫(*H. armigera* Hübner)是我国棉花的主要害虫之一,特别是近十年来,在南部棉区也普遍发生,对提高棉花产量威胁很大。显然,分析主要环境因素对棉铃虫发育和繁殖的影响,阐明棉铃虫种群数量变动的规律,对于改进棉花害虫的防治系统,加快农业生产发展步伐具有重要意义。关于温度对棉铃虫(*H. armigera*)的影响,国内外曾有过一些报道(Родд, 1953; Глушенков, 1955; 许明霞等 1958; 齐兆生 1961),但多偏重于温度与发育历期的关系,至于温度对棉铃虫存活和繁殖影响的系统资料则未见报道。本试验的目的在于研究温度与棉铃虫种群数量变动的关系,为发展控制理论提供依据。现将试验结果整理报告于后。

材 料 与 方 法

材料 冬前在京郊采集老熟幼虫,室内化蛹。用越冬代成虫产的卵作为试验材料。

* 本项工作在马世骏教授指导下进行,并承阅读、修改文稿;丁岩钦同志提供宝贵意见;肖跃、王莽莽两同志协助准备试验条件,在此一并致谢。

方法 选用 15°、20°、25°、30°和 35℃ 等五种温度，均用恒温箱控制，温差幅度 ±0.5℃。卵期试验并用硫酸铵饱和溶液控制湿度 (Winston & Botes 1960)。各处理均用同一天产的卵 100 粒，孵化期间每天检查两次，扣去未受精卵数，统计孵化率，三次重复，取平均值。幼虫期各用原处理中孵化的幼虫 100 条，在 1.5 × 8.0 厘米指管内饲养，1—3 龄和 4—6 龄期间分别喂以棉花嫩叶及架豆，每天更换一次。光照时间：25℃以上三种处理为 L14:D10；为防止滞育，20℃ 处理为 L16:D8；15℃ 处理 L18:D6。逐日记录存活情况。老熟幼虫在指管内入土化蛹。除 15℃ 中因存活率低，羽化不整齐，取一部分 20℃ 中羽化的雄蛾及时与 15℃ 中羽化的雌蛾配对外，其余各组均用原处理羽化的成虫十对，在 10 × 10 厘米桅灯罩内饲养，喂以 5% 蜂蜜水，给予 L14:D10 光照，逐日记录产卵数。雌蛾死后，解剖检查腹内成熟卵数，统计总卵量、产卵量和产卵率。

计算方法：

$$\text{死亡率} = \frac{\text{一定发育期的死亡数}}{\text{进入该发育期的活虫数}} \times 100\%$$

$$\text{产卵率} = \frac{\text{产卵数}}{\text{产卵数} + \text{剖腹卵数}} \times 100\%$$

$$\text{种群增长指数} = \frac{\text{繁殖一代后的卵量}}{\text{当代起始卵量}}$$

结果与分析

(一) 温度对存活的影响

温度对棉铃虫存活的影响因发育期不同而异。卵的孵化率在 25℃ 中最高，在 35℃ 中孵化率显著下降，15℃ 低温对孵化率的影响不如 35℃ 明显 (图 1)。卵的孵化率普遍偏低 (最高为 85.7%) 可能与 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 饱和溶液的影响有关。

试验表明，在 20°—35℃ 范围内，整个幼虫期的存活率大致相同。在 15℃ 中，幼虫存活率显著下降，死亡率达 30% 以上。在五种温度中，1—3 龄幼虫期的存活率都很高，其变化幅度亦不大 (93.7—95.7%)，低温对幼虫存活的影响主要发生在 4—6 龄期间 (图 2)。

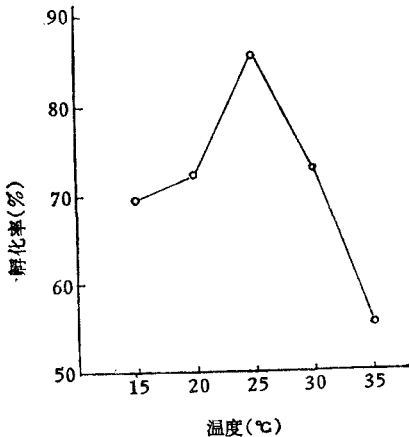


图 1 温度对卵孵化率的影响

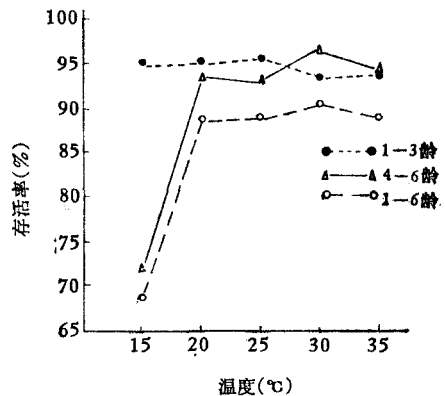


图 2 温度对幼虫存活的影响

温度对预蛹和蛹存活的影响大致相似,棉铃虫化蛹的最适温度在 30—35℃ 之间。在 30℃ 以下,温度越低,死亡率越高,在 15℃ 中预蛹和蛹的死亡率分别达 16.8% 和 25.0%。整个蛹期的存活率与试验的温度呈直线相关, $y = 1.448x + 42.64$ (y = 存活率, x = 环境温度,℃), 相关系数 $r = 0.91$, 概率 $p < 0.01$ (图 3)。

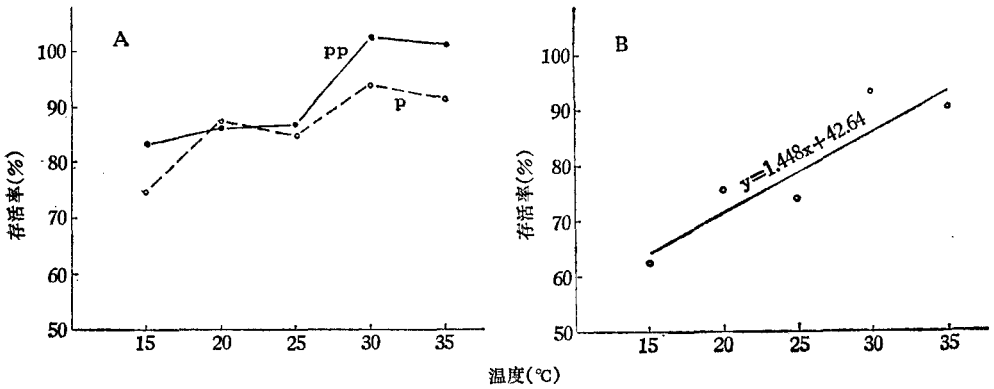


图 3 温度对蛹存活的影响

A. PP.——预蛹 P.——蛹 B. 预蛹+蛹

图 4 综合了温度对棉铃虫不同发育期存活的影响 (图 4)。图中的存活曲线表明,在 30℃ 恒温条件下,虽然卵期孵化率较 25℃ 中低,但进入幼虫期后,各发育期的死亡率都很低,所以世代存活率最高。在 25℃ 中,虽然卵期孵化率最高,但进入幼虫期后,尤其是蛹期死亡率明显高于 30℃ 处理的死亡率,结果其世代存活率低于 30℃ 处理的存活率。其它温度中的世代存活率依次为 20℃、35℃ 和 15℃。棉铃虫在五种温度中的世代存活率呈现抛物线趋势 (图 5),可配合下述方程式

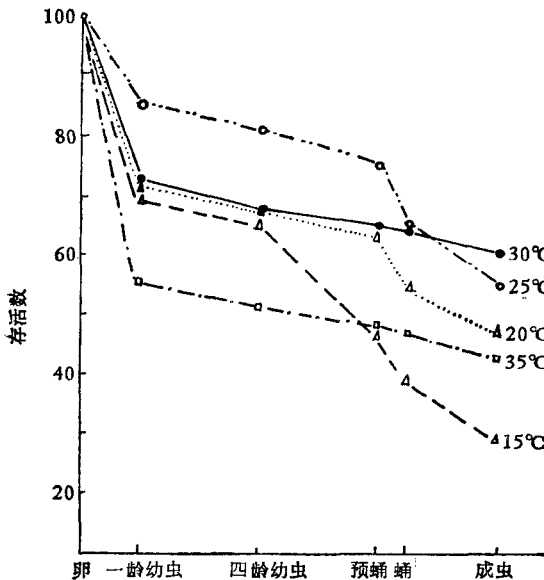


图 4 棉铃虫在不同温度下的存活曲线

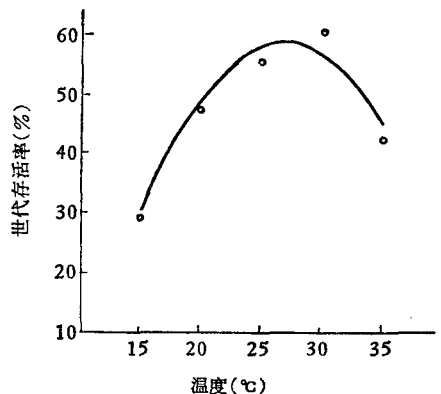


图 5 温度与世代存活率的关系

$$y = -95.8575 + 11.5210x - 0.2137x^2 \quad (1)$$

式中: y = 世代存活率, x = 环境温度($^{\circ}\text{C}$)。

(二) 温度对成虫繁殖力的影响

试验表明,棉铃虫成虫的繁殖力与环境温度密切相关(表 1)。成虫在五种温度中的

表 1 温度对成虫繁殖力的影响 (十对成虫平均值)

温度($^{\circ}\text{C}$)	15	20	25	30	35
产卵量	*151.9 $\pm$ 75.9	730.4 $\pm$ 137.8	1270.2 $\pm$ 76.5	1187.2 $\pm$ 107.6	193.1 $\pm$ 15.0
幅 度	7—633	172—1,325	943—1,625	802—1,933	42—298
剖腹卵	78.3	80.3	12.7	29.1	465.9
幅 度	1—307	0—363	0—51	0—124	102—863
总卵量	230.2 $\pm$ 53.1	810.7 $\pm$ 118.3	1282.9 $\pm$ 76.6	1216.3 $\pm$ 107.2	659.0 $\pm$ 43.4
幅 度	10—619	172—1,325	994—1,659	807—1,965	279—986
产卵率(%)	65.9	90.1	99.0	97.6	29.3

* 平均值 $\pm$ 标准误差,余同。

总卵量和产卵量的变化趋势大致相似(图 6, A), 25—30 $^{\circ}\text{C}$ 是成虫繁殖的最适温度, 在此温区内, 雌蛾平均怀卵量超过 1,200 粒, 绝大部分都能顺利产出, 产卵率高达 97% 以上。环境温度高于 30 $^{\circ}\text{C}$ 或低于 20 $^{\circ}\text{C}$ 时, 成虫繁殖力都有不同程度的下降, 在 15 $^{\circ}\text{C}$ 中雌蛾平均怀卵仅 200 余粒, 约为最适温区怀卵量的 1/5, 表明低温对繁殖的影响主要是抑制卵的形成。在 35 $^{\circ}\text{C}$ 中, 成虫产卵量和产卵率, 特别是产卵率急剧下降(图 6, B), 说明 35 $^{\circ}\text{C}$ 高温对繁殖力的影响主要是抑制产卵行为。解剖检查表明, 在 35 $^{\circ}\text{C}$ 中死亡的雌蛾, 腹内有大量

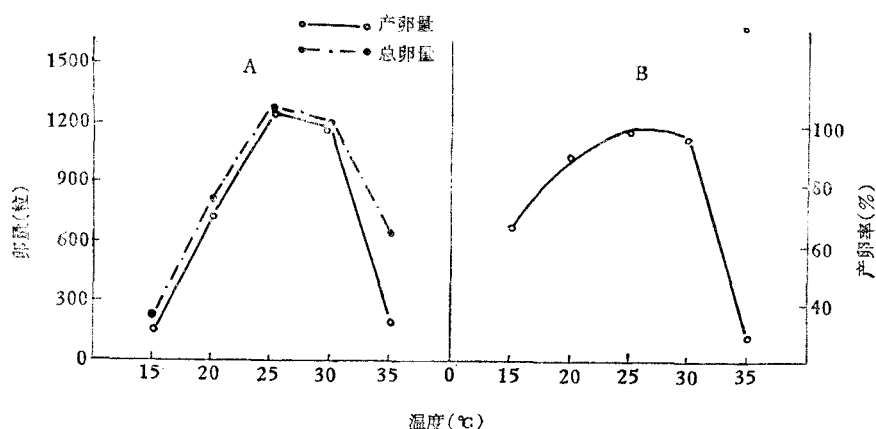


图 6 温度对成虫繁殖力的影响 A. 产卵量和总卵量 B. 产卵率

难以分辨的未成熟卵(未计入总卵数), 这显然是由于高温下雌蛾寿命大大缩短的结果。雌蛾在五种温度中的平均产卵量亦呈抛物线趋势(图 7), 可配合下述方程式:

$$y = -5749.94 + 548.78x - 10.76x^2 \quad (2)$$

式中： y = 平均产卵量； x = 环境温度(℃)。

(三) 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表

综上所述，环境温度对棉铃虫的存活和繁殖均有明显的影响。表 2 是根据不同温度中各发育期存活和成虫繁殖力资料组建的棉铃虫实验种群生命表。表中的起始卵数为假定数，各发育期的死亡率是实际观察值，性比均假设为 1:1。世代存活率估测值由方程式(1)求出，预计下代卵量系世代存活的雌蛾估测值与平均产卵量估测值〔由方程式(2)求出〕的乘积，种群增长指数是预计的下一代卵量被除于当代起始卵量所得的商。图 8 表示环境温度与棉铃虫种群增长指数的关系，配合曲线得下述方程式：

表 2 不同温度下的棉铃虫种群世代生命表

温度(℃)		15	20	25	30	35
起始卵数		100	100	100	100	100
死亡率(%)		30.5	28.0	14.3	27.2	44.7
死亡数		30.5	28.0	14.3	27.2	44.7
进入一龄幼虫数		69.5	72.0	85.7	72.8	55.3
1—3龄死亡率(%)		5.0	5.0	4.3	6.3	6.0
死亡数		3.5	3.6	3.7	4.6	3.3
进入四龄幼虫数		66.0	68.4	82.0	68.2	52.0
4—6龄死亡率(%)		27.9	6.3	6.9	3.3	5.6
死亡数		18.4	4.3	5.7	2.3	2.9
进入预蛹数		47.6	64.1	76.3	65.9	49.1
死亡率(%)		16.8	13.5	13.4	1.1	2.1
死亡数		8.0	8.7	10.2	0.7	1.0
进入蛹期数		39.6	55.4	66.1	65.2	48.1
死亡率(%)		25.0	13.0	14.9	5.8	8.5
死亡数		9.9	7.2	9.8	3.8	4.1
羽化成虫数		29.7	48.2	56.3	61.4	44.0
雌蛾数(性比 1:1)		14.85	24.10	28.15	30.70	22.0
世代存活率(%)	观察值	29.7	48.2	56.3	61.4	44.0
	估测值	28.8	49.0	58.5	57.4	45.5
预计下代卵量		874.9	22,580.7	36,403.4	29,545.0	6,287.2
种群增长指数		8.75	225.8	364.0	295.5	62.9

$y = -1713.6700 + 161.4846x - 3.1586x^2$

(3)

式中： y = 种群增长指数； x = 环境温度(℃)。

令： $y = 1$,

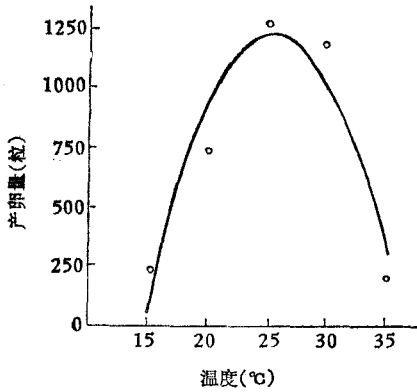


图7 温度与产卵量的关系

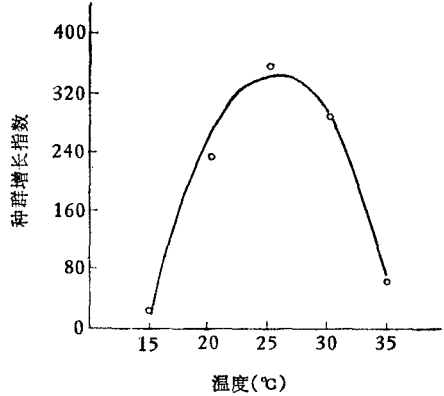


图8 温度与种群增长指数的关系

则环境温度 $x_1 = 15.05$; $x_2 = 36.08$

令: 方程式(3)之导数等于 0,

则 $x = 25.56$, 以此值代入方程式, 则 $y = 350.3$, 由此可见, 在 15.05°C — 36.08°C 范围内, 棉铃虫种群世代数量变动都是上升的趋势; 在环境温度为 25.56°C 时, 种群增长指数最大, 繁殖一代后种群数量约增加 350 倍。在环境温度为 15.05°C 或 36.08°C 时, 种群世代数量基本保持稳定。环境温度高于 36.08°C 或低于 15.05°C 时, 种群世代数量变动将是下降的趋势。在方程式(3)中, 当 $x = 15$ 时, $y < 0$, 说明在理论上, 棉铃虫在 15°C 中是不能完成整个生活史的。实际观察值与理论计算值之间的误差主要是由于 15°C 处理的温度误差造成的。同时, 该处理较其它温度处理多 2—4 小时的光照, 这可能也有一定的影响。

讨 论 和 总 结

棉铃虫是棉花、玉米、高粱和番茄等多种作物的重要害虫, 分布很广。从本试验的结果可以看出, 棉铃虫的适温范围是比较宽的, 这是它在我国各棉区普遍发生、危害的原因之一。

生命表是近年来广泛用于研究、分析影响昆虫种群数量变动因素的重要方法。本文根据室内试验资料, 组建了五种恒温条件下的棉铃虫种群世代生命表。从这些生命表中可以看出, 棉铃虫在不同发育期对温度的要求是不一样的。卵期孵化率以 25°C 中为最高, 在 35°C 中孵化率显著下降。幼虫期在 20 — 35°C 范围内存活率大致相同; 在 15°C 中, 死亡率明显增加, 低温对幼虫存活的影响主要发生在 4—6 龄期间。在试验的温度范围内, 蛹期存活率似乎随温度的升高而增加。世代存活的最适温度在 25° — 30°C 之间, 在五种温度中棉铃虫的世代存活率呈抛物线的趋势。如果将图 4 中的存活曲线与 Seber (1973) 描述的动物存活曲线相比, 棉铃虫在 30°C 和 35°C 中的存活曲线相当于第 III 类曲线, 即种群的个体死亡主要发生在发育前期(卵期), 进入幼虫期后, 个体死亡很少; 在 20°C 和 25°C 中的存活曲线则是 I、III 类曲线的混合型, 即在卵期和蛹期, 种群的个体死亡较多, 而在幼虫期, 个体死亡很少; 在 15°C 中, 除 1—3 龄幼虫期外, 其它发育期的死亡率比较接近, 其存活曲线近似于第 II 类曲线。

Глушенков (1955) 曾报道, 棉铃虫越冬代成虫在温度升至 23°C 以上时, 开始大量产卵; 23°C 以下产卵缓慢; 20°C 或 20°C 以下即完全不产卵。本试验表明, 环境温度对棉铃虫成虫的怀卵量、产卵量和产卵率均有明显的影响。在 $25-30^{\circ}\text{C}$ 范围内, 成虫平均产卵量最大, 产卵率最高, 这与 Глушенков 的结论基本一致。但试验亦同时表明, 在 20°C 以下, 甚至在 15°C 低温中, 棉铃虫成虫亦能产卵繁殖, 虽然繁殖力较低。本试验是用室内饲养的第一代成虫进行的, 与 Глушенков 的观察材料相比, 两者相差一代。不同世代成虫产卵的温度要求可能有所不同, 然而, 从第一代棉铃虫在我国大部分地区发生的时间来看, 越冬代棉铃虫成虫产卵时的夜间温度显然要低于 23°C 。

棉铃虫成虫羽化后, 需要取得一定的补充营养, 卵粒方能逐渐成熟并正常产出。在 35°C 恒温中, 雌蛾寿命不超过六天, 平均产卵期仅四天左右, 许多卵粒尚未成熟或虽已成熟但尚未产出之前, 雌蛾即行死亡。在棉铃虫大量发生的自然情况下, 昼夜有一定的温差, 我国大部分棉区的日平均温度一般都不大可能较长时间地达到或超过 35°C , 因而在高温季节, 棉铃虫成虫的繁殖力不会有显著的下降。

棉铃虫在五种温度中的种群增长指数可以用二次抛物线方程式表示。计算结果表明, 在 $15.05^{\circ}-36.08^{\circ}\text{C}$ 范围内, 棉铃虫种群世代数量变动都是上升的趋势。如果不考虑其它因素的影响, 在最适温度 (25.56°C) 中繁殖一代, 其种群数量约增加 350 倍, 可见, 棉铃虫的繁殖能力是很强的。

从实验种群生命表中还可以看出, 除 15°C 低温处理外, 棉铃虫发育进入幼虫期后, 各发育阶段的死亡率都很低。在自然情况下, 幼虫在三龄前后即钻入棉桃或其它寄主的果实等繁殖器官为害, 天敌及其它防治措施等均不易发挥作用, 因此在防治策略上, 仍应抓紧前期防治以压低基数, 减轻为害, 保障丰收。

参 考 文 献

- 许明霞等 1958 棉铃虫的研究。应用昆虫学报 1 (1): 18—30。
- 齐兆生 1961 我国北部棉区棉铃虫的研究及其防治。中国植物保护科学: 653—67。科学出版社。
- Harcourt, D. G. 1969 The development and use of life tables in the study of natural insect populations. *Ann. Rev. Ent.* 14: 175—96.
- Morris, R. F. & N. C. Fulton, 1970 Models for the development and survival of *Hyphantria cunea* in relation to temperature and humidity. *Mem. Ent. Soc. Can.* No. 70.
- Pearl, R. & S. L. Parker, 1921 Experimental studies on the duration of life: an introductory discussion of the duration of life in *Drosophila*. *Am. Naturalist* 55: 481—509.
- Richards, O. W. 1961 The theoretical and practical study of natural insect populations. *Ann. Rev. Ent.* 6: 147—62.
- Southwood, T. R. E. 1966 *Ecological Methods*. Methuen: London.
- Seber, G. A. F. 1973 *The estimation of animal abundance and related parameters*. London, Griffin.
- Stinner, R. L., R. L. Rabb, & J. R. Bradley, 1974 Population Dynamics of *Heliothis zea* (Boddie) and *H. virescens* (F.) in North Carolina: A simulation model. *Environ. Ent.* 3 (1): 163—8.
- Varley, G. C. & G. R. Gradwell, 1970 Recent advance in insect population dynamics. *Ann. Rev. Ent.* 15: 1—24.
- Winston, P. W. & D. H. Bates 1960 Saturated solutions for the control of humidity in biological research. *Ecology* 41: 232—7.
- Глушенков, Н. 1955 Новые данные по биологии хлопковой совки и меры борьбы с нею. *Хлопководство* 6: 57—60.
- Родд, А. 1953 Повысить эффективность борьбы с хлопковой совкой. *Хлопководство* 5: 41—4.

**LIFE TABLES FOR EXPERIMENTAL POPULATIONS OF THE COTTON
BOLLWORM, *HELIOTHIS ARMIGERA* (HÜBNER),
AT DIFFERENT TEMPERATURES**

WU KUEN-CHUN CHEN YU-PING LI MING-HUI

(*Institute of Zoology, Academia Sinica*)

The present paper reports the life tables of the cotton bollworm (*H. armigera*) at five constant temperatures from 15° to 35°C. The experimental results show the influence of temperature on the survival percentages of this cotton insect differs during different developmental stages. The highest survival percentage of whole generation occurs at 30°C and the lowest, less than 30%, at 15°C. The numbers and percentages of the eggs laid by the females which reach maxima at 25°C are strongly influenced by the environmental temperature. And the females can also lay eggs at 15°C although the fecundity is poor. Therefore both the survival percentages of the generation and the average numbers of the eggs laid by the females show a parabolical trend at five constant temperatures.

The trend indexes of population calculated from the life tables may be expressed by the following equation:

$$y = -1713.6700 + 161.4846x - 3.1586x^2$$

The results of calculation by the equation show that the populations of the cotton bollworm from generation to generation tend to grow within the range of 15.05°—36.08°C and the highest increasing rate reaches to about 350 times at the most favorable temperature, while it remains almost constant at 15.05°C or 36.08°C.